

論文 高粘性 PC グラウトの製造に関する基礎研究

宮前 俊之^{*1}・辻 幸和^{*2}・池田 正志^{*3}・大和田 雅仁^{*4}

要旨:本研究では、分割練混ぜ方法により高粘性 PC グラウトを均一に練り混ぜることを目的とし、セメントの種類、混和剤の種類および分割練混ぜにおける一次水結合材比を変化させた高粘性 PC グラウトを製造し、練り玉の量を計測するとともに流出管の長さを変化させた JP 型漏斗を用いて流動性試験を行った。その結果、高粘性 PC グラウトの製造では、分割練混ぜ方法を用いることにより均一な PC グラウトの製造が出来ることが確かめられた。また、分割練混ぜ方法における一次水結合材比の影響が大きく、PC グラウト用混和剤およびセメントの種類による影響も認められた。

キーワード:高粘性 PC グラウト、分割練混ぜ、一次水結合材比、練り玉、JP 型漏斗

1. はじめに

PC グラウトは、ポストテンション方式のプレストレスコンクリート(PC)構造物において、シース中に挿入され緊張定着された PC 鋼材を腐食から保護するとともに、コンクリートとシース中の PC 鋼材とに付着を与えて両者を一体とするきわめて重要な役割を持つ。このため、PC 構造物が所要の性能を持ち、優れた耐久性を有するためには、適切な材料、配合および練混ぜによって製造された所要の品質を持つ PC グラウトを確実に充填しなければならない。

PC グラウトが良好な充填性を確保するためには、セメント等の粒子を均一に分散させる練混ぜ方法が必要不可欠である。しかし、最近多く用されているノンブリーディングタイプの高粘性 PC グラウトの製造に関しては、高速せん断ミキサを用いない場合においてはセメントが凝集したいわゆる練り玉の発生がある¹⁾。

本研究では、高粘性 PC グラウトの製造において高速せん断ミキサを用いなくても分割練混ぜ方法により高粘性 PC グラウトを均一に練り

混ぜることを目的とし、セメントの種類、PC グラウト用混和剤の種類および分割練混ぜにおける一次水結合材比 W1/C を変化させた高粘性 PC グラウトの製造結果を報告する。品質の評価方法としては、JP 漏斗による流動性とともに練り玉の量を計測した。また、流出管の長さを変化させた JP 型漏斗を用いて流動性試験を行った結果についても検討した。

2. 実験概要

2.1 使用材料

高粘性 PC グラウトの材料は、結合材、水および PC グラウト用混和剤（以下、混和剤と略称する）である。以下にそれぞれの材料について示す。

結合材には、普通ポルトランドセメントおよび普通ポルトランドセメントの 20%, 40% をフライアッシュで置換したもの（以下、フライアッシュセメントと称す）の合計 3 種類を用いた。普通ポルトランドセメントの密度は 3.16g/cm³、比表面積が 3320cm²/g であった。また、フライ

* 1 群馬大学大学院 工学研究科建設工学専攻 (正会員)

* 2 群馬大学 教授 工学部建設工学科 工博 (正会員)

* 3 群馬大学技術官 工学部建設工学科 (正会員)

* 4 群馬大学 工学部建設工学科

表-1 PC グラウトの配合(1バッチ当り)

結合材 B の種類	水結合材比 W/B (%)	セメント (g)	混和材 (g)	水 (g)	混和剤 A,B (g)	記号*
普通ポルトランドセメント	45	2564.0	—	1154.0	25.6	CA,CB
フライアッシュセメント (20%置換)	45	2051.2	512.8	1154.0	25.6	F20A,F20B
フライアッシュセメント (40%置換)	45	1538.4	1025.6	1154.0	25.6	F40A,F40B

* CA,F20A,F40A : 混和剤 A CB,F20B,F40B : 混和剤 B

アッシュは、JIS A 6201 の I 種に相当するものである。

練混ぜ水には、ポリバケツに溜めた上水道水を恒温室にて水温を 20°C に保ち使用した。

混和剤には、ノンブリーディングタイプの高性能セメントグラウト注入モルタル用混和剤である混和剤 A (主成分:水溶性高分子エーテル系化合物) ならびに高粘性タイプのノンブリーディング混和剤 B (主成分:メラミン系高性能減水剤) を使用した。いずれも、PC グラウトに適度な粘性と材料分離抵抗性を与える、ブリーディングの発生を防止することができる粉末状の高性能 PC グラウト用の混和剤である。

2. 2 PC グラウトの配合

PC グラウトの配合では、それぞれの結合材に対して水結合材比を 45%とした。また、PC グラウト用混和剤として混和剤 A,B の 2 種類を結合材の質量比で 1 %用いた。練混ぜ量が約 2ℓ の各材料の使用量を表-1 に示す。

2. 3 練混ぜ方法

PC グラウトの練混ぜ方法には分割練混ぜ方法を採用した。図-1 に示すように、結合材、混和剤に一次水を添加して 1 分 30 秒練り混ぜた後、残りの水を二次水として添加して更に 1 分 30 秒練り混ぜて、PC グラウトを製造した。

練混ぜには JIS R 5201 「セメントの物理試験方法」で用いる練混ぜ機を使用した。パドルは葉脈状羽、練鉢はステンレス鋼製で、最大容量

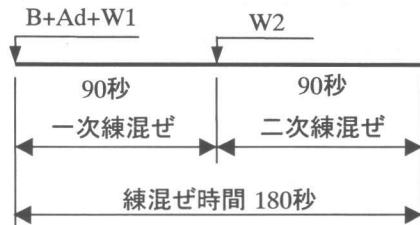


図-1 分割練混ぜ方法

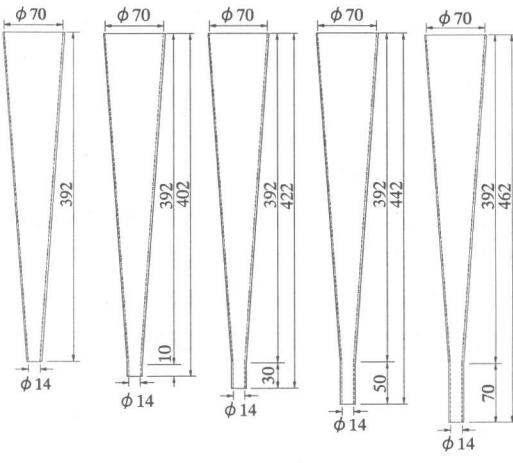


図-2 漏斗の形状寸法 (単位:mm)

が 4.5ℓ のものを用いた。

分割練混ぜ方法は、全材料を一度に投入して練り混ぜる一括練混ぜ方法に比べて、セメントの練り玉が少くなり、効率良く練り混ぜることができる²⁾。

本研究では、分割練混ぜ方法において、一次水結合材比 W1/C を混和剤 A においては 22, 24, 26, 28, 30, 34% の 6 種類、混和剤 B では 22% を除いた 5 種類に変化させて、PC グラウトを造

った。

2.4 PC グラウトの流動性試験方法

PC グラウトの流動性試験に用いた漏斗の形状寸法を図-2に示す。本研究では、J₁₄漏斗およびJP漏斗を含む流出管の長さを変化させたJP型漏斗4種類を用いて、PC グラウトの流動性状を評価した。なお以降はJP型漏斗の表記を流出管の長さに対応してJP10, JP30, JP50, JP70と表記する。ただし、JP30漏斗はJP漏斗と表記することもある。またJ₁₄漏斗については、流出管の長さが0mmであるとしてここではJP0とも表記する。

流動性試験は、PC グラウトの練混ぜ直後に加え、20°C±3°Cの恒温室内で湿布を覆って30分および60分静置した後、手練りで2~3分間練り直した後にも行った。

PC グラウトの流動性試験では1.2mmのふるいを通過したPC グラウトを用いた。また、約2ℓの1バッチ分をふるってふるいに残ったものを、練り玉として計測した。

PC グラウトの流動性試験は、JSCE-F531-1999に準じて行った。すなわち、まず台で鉛直に支持した漏斗に水を通して濡らし、試料を漏斗内に注ぎ、流出管から少量の試料を流出させた後、指で押さえ漏斗上面まで注ぎならす。その後、指を離して、流下時間を測定した。なおJP型漏斗の流下時間には後述するように、「流出管からのグラウト流が初めて途切れるまでの時間」の代わりに、「流出管からのグラウト流が急激に細くなるまでの時間」を採用しているため、JP(J₁₄)漏斗についても同様な測定を行った。

2.5 流下時間の測定方法

PC グラウトの流出状況を写真-1³⁾に示す。PC グラウトを漏斗上面まで注いでならした後、流出口の指を離してグラウトを流出させた状況である。指を離した直後とグラウト流が細くなった時、およびそれらのほぼ中間の時間における時の、それぞれのグラウト流を示している。この写真に示すように、JP0漏斗のJ₁₄漏斗とJP

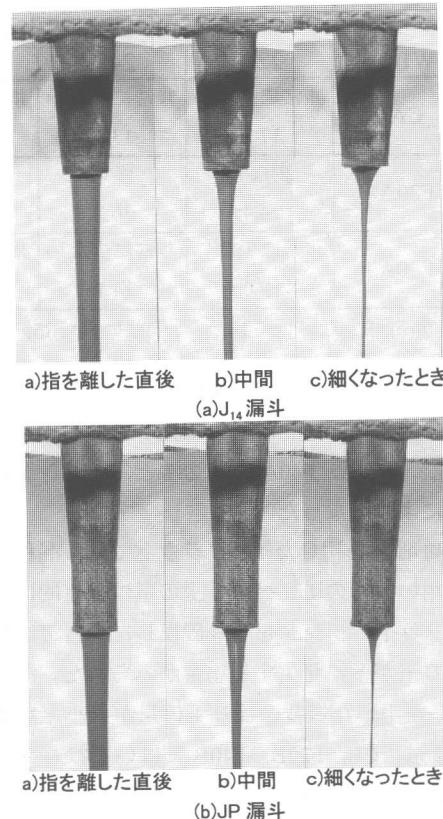


写真-1 PC グラウトの流出状況

漏斗のいずれも同じグラウト流を経過するが、グラウト流が急激に細くなる状況は、J₁₄漏斗に比べてJP漏斗を用いた方が明瞭である。すなわち、グラウト流は時間とともに細くなっていくが、それが急激に細くなる状況は、J₁₄漏斗の代わりにJP漏斗を用いると非常に明瞭である。

3. 実験結果

3.1 一次水結合材比が練り玉に及ぼす影響

表-2に各一次水結合材比における練り玉の量を示す。また、横軸に一次水結合材比W1/C、縦軸に練り玉の質量を記したものを図-3に示す。練り玉の発生状況を写真-2に示す。一次水結合材比W1/Cを変化させることにより、練り玉の量が変化していることは明瞭である。混和剤Aを用いたPC グラウトでは全体的に練り玉の量は少なく、フライアッシュを置換したPC グラウトにおいても置換しないものと同程度の

表-2 練り玉の量

W1/C	22%	24%	26%	28%	30%	34%
CA	非常に少ない 17.2	非常に少ない 13.1	非常に少ない 18.0	非常に少ない 14.4	少ない 19.6	少ない 20.9
	少ない 24.4	多い 36.7	少ない 18.6	非常に少ない 11.7	非常に少ない 12.7	非常に少ない 17.0
F40A	非常に少ない 17.0	非常に少ない 14.7	非常に少ない 17.7	非常に少ない 13.5	非常に少ない 17.1	非常に少ない 17.2

※「非常に少ない」<18g<「少ない」<35g<「多い」 上段：練り玉の量 下段：練り玉の質量(g)

値となった。練り玉の量が最小となる W1/C は明瞭ではないが、混和剤 A を用いた場合 CA では 24%，F20A，F40A では 28% と、セメントの種類により異なった。

混和剤 B を用いた PC グラウトでは、混和剤 A を用いたものに比べ練り玉の量は全体的に多く、フライアッシュを 40% 置換した場合では特に練り玉が多く発生する場合がみられた。混和剤 B を用いた場合の練り玉の量が最小となる W1/C は、CB, F20B, F40B ではいずれも 24% となつた。混和剤が異なると、練り玉の量が最小となる W1/C は異なるようである。

3.2 一水結合材比と流下時間の関係

一次水結合材比 W1/C を 22% から 34% に変化させた場合、PC グラウトの練混ぜ直後における JP 漏斗の流下時間を図-4 に示す。

混和剤 A を用いた場合では、W1/C が大きくなるに従い流下時間は徐々に長くなる傾向がみられた。混和剤 B を用いた場合でも、W1/C が大きくなるに従い流下時間は徐々に長くなる傾向はみられるが、その変動は混和剤 A を用いたものに比べ大きい。また、フライアッシュセメントを用いること、流下時間が普通ポルトランドセメントに比べ長くなっている。PC グラウトの粘性が増加したものと考えられる。

流下時間が最小となる W1/C は、混和剤 A を用いたものではいずれのセメントとも 22%，混和剤 B を用いたものでは CB, F40B では 26%，F20B では 24% となつた。

混和剤 B を用いたものは粘性が大きく、特に

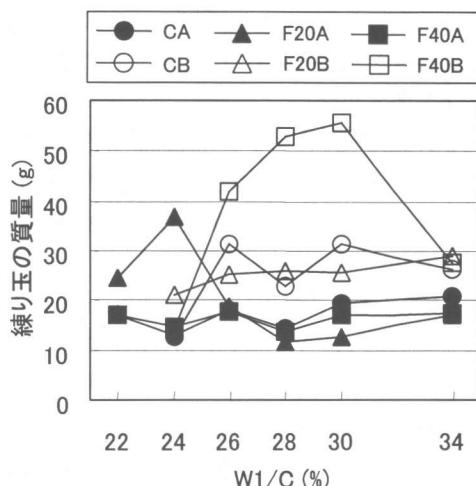


図-3 各一次水結合材比における練り玉の量
(練混ぜ直後)



写真-2 練り玉の発生状況

フライアッシュセメントを用いた PC グラウトでは、練混ぜ直後において漏斗が閉塞する現象

がみられた。この現象は流出管が長い漏斗において著しくなっている。なお、漏斗が閉塞したデータについては、図中には表記していない。

3.3 流下時間の経時変化

一次水結合材比 W/C を 24%としたときの流下時間の経時変化を図-5に示す。JP 漏斗により測定した例である。

経過時間に伴なう流下時間の変化は、混和剤 A を用いた場合ではセメントの種類を変えた場合においてもほとんどがみられない。これに対し混和剤 B を用いた PC グラウトは、経過時間に伴なって流下時間は減少する傾向がみられる。そして、フライアッシュセメントを用いた場合には著しく減少している。これは、混和剤 B を用いた PC グラウトでは練混ぜ後においてもセメントと混和剤との反応が存続していたためと考えられる。この現象は、今後練混ぜ時間を変化させて検討していきたい。

3.4 流出管の長さと流下時間の関係

図-6に普通ポルトランドセメントを用いた PC グラウトの練り混ぜ直後の流出管の長さと JP 型漏斗の流下時間の関係を示す。流出管の長さと流下時間の関係では、混和剤 A, B どちらを用いた場合においても、流出管の長さに対し

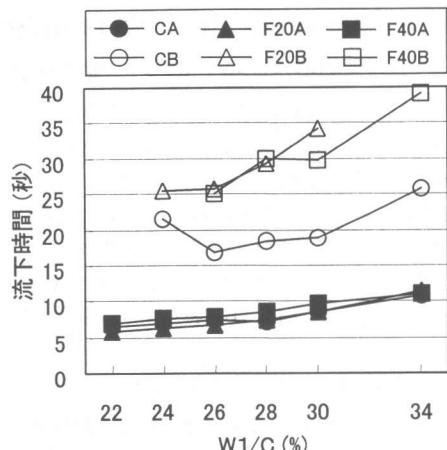


図-4 流下時間と一次水結合材比の関係
(練混ぜ直後, JP 漏斗)

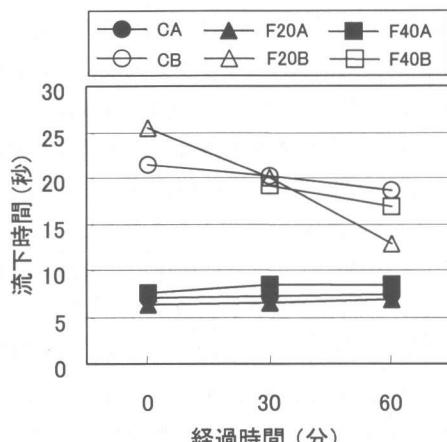


図-5 流下時間の経時変化(JP 漏斗)

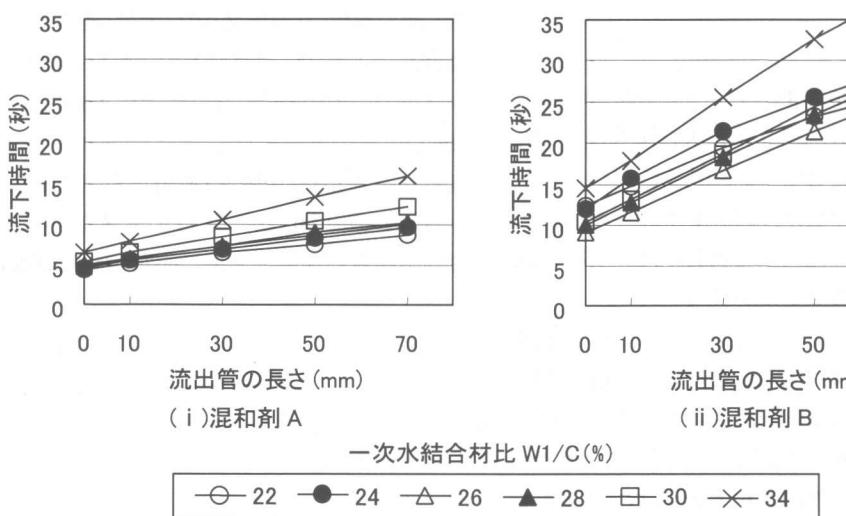


図-6 流出管の長さと流下時間の関係(普通ポルトランドセメント, 練混ぜ直後, JP 漏斗)

表-3 流出管の長さと流下時間の比例関係式
(普通ポルトランドセメント、練混ぜ直後)

W1/B	混和剤 A	混和剤 B
22%	$y = 0.06x + 4.48$	$y = 0.20x + 12.8$
24%	$y = 0.07x + 4.65$	$y = 0.25x + 12.9$
26%	$y = 0.08x + 4.94$	$y = 0.24x + 9.22$
28%	$y = 0.07x + 4.87$	$y = 0.26x + 10.3$
30%	$y = 0.10x + 5.49$	$y = 0.26x + 10.6$
34%	$y = 0.14x + 6.57$	$y = 0.35x + 14.7$

流下時間にはほぼ比例関係が認められる³⁾⁴⁾。

また、いずれの一次水結合材比においても同様に比例関係が認められる。表-3に流出管の長さをx、流下時間をyとして表す。なお、y切片はJ₁₄漏斗における流下時間に相当している。

比例関係式におけるグラフの勾配は、混和剤Aを用いたPCグラウトでは0.06から0.14の間となった。また、混和剤Bを用いたものでは0.20から0.35の間となり、混和剤Aよりも勾配は大きい。この勾配は粘性の大きさを表し、混和剤Aを用いたPCグラウトに比べ、混和剤Bを用いたものの粘性が大きいことを示している。

いずれのPCグラウトにおいても、比例関係式における勾配はW1/Cが22%で最小、34%で最大となり、粘性はW1/Cに伴なって異なっていることが認められる。

4. まとめ

本研究では高粘性PCグラウトを均一に練り混ぜるために、分割練混ぜ方法を採用して一次水結合材比を変化させて高粘性PCグラウトを製造し、練り玉の量の計測、JP型漏斗を用いた流動性試験を行った結果を報告した。本研究の範囲内で、以下のことがいえる。

①高粘性PCグラウトの製造に関しては、分割練混ぜ方法を採用することにより一般モルタルミキサを用いて均一なPCグラウトを製造することが出来ることを確かめた。この場合、一次水結合材比の影響が大きく、PCグラウト用混和剤およびセメントの種類による影響も

認められた。

②一次水結合材比W1/Cを22%から34%に変化させた場合、W1/Cが大きくなるに従い流下時間は徐々に長くなる傾向がみられた。そして、流下時間が経時に変化する現象は、PCグラウト用混和剤の種類だけでなく、セメントの種類にも影響されることが明らかになった。

③1.2mmのふるいに残る練り玉は、流下時間と同様にW1/Cの影響を受けるとともに、PCグラウト用混和剤とセメントの種類により異なることが明らかになった。

④流出管の長さと流下時間の関係には、ほぼ比例関係が認められた。また、比例関係式より粘性の大きさがその勾配に反映されることも確かめられた。

参考文献

- 1) 辻 幸和・宮崎弘毅・門倉 智・広瀬晴次：分割練混ぜ方法による高粘性PCグラウトの練混ぜ効果、第54回セメント技術大会、pp.102~103、2000.4
- 2) 辻 幸和・池田正志・橋本親典・浦野真次：高強度PCグラウトの製造に関する基礎研究、プレストレストコンクリート、Vol.36、No3、pp.47~56、1994.5
- 3) 辻 幸和・宮前俊之・山口光俊・池田正志：JP型漏斗によるPCグラウトの流動性、プレストレストコンクリート、pp.27~30、Vol.42、No3、2000.5
- 4) 辻 幸和・杉山隆文・池田正志：高粘性PCグラウトの流動性状、第27回セメント・コンクリート研究討論会論文集、pp.55~60、2000.11